

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

H01L 41/083

H01L 41/24

## [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00135239.3

[43] 公开日 2001 年 6 月 13 日

[11] 公开号 CN 1299153A

[22] 申请日 2000.12.8 [21] 申请号 00135239.3

[30] 优先权

[32] 1999.12.8 [33] JP [31] 348732/1999

[32] 2000.1.17 [33] JP [31] 7904/2000

[71] 申请人 TDK 株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 古川正仁 堀野贤治 森田诚

伊藤州児 工藤南

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

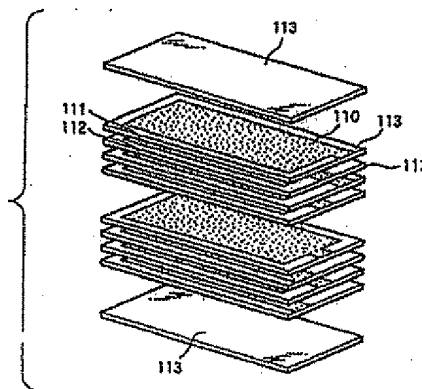
代理人 卢新华 罗才希

权利要求书 3 页 说明书 22 页 附图页数 9 页

[54] 发明名称 多层压电元件及其制造方法

[57] 摘要

一种电子部件,其中包括主要部件、接线电极和一层膜。所述的主要部件包括烧结的压电陶瓷元件,其中交替地叠积多层内部电极层和压电层。接线电极是在烧结的压电陶瓷元件的边缘上制成的,并为内部电极导电。所述的膜是在烧结的压电陶瓷元件和暴露内电极的表面上形成的,是由玻璃绝缘材料制造的。



ISSN 1008-4274

## 权 利 要 求 书

1. 一种电子元件, 其中包括:  
一个包括烧结的压电陶瓷元件的主要部件, 其中交替地叠积多个  
5 内部电极层和压电层;  
一个在烧结的压电陶瓷元件边缘上制成的、为内部电极导电的接  
线电极; 和  
一个在烧结的压电陶瓷元件表面上形成的、由玻璃绝缘材料制造  
的膜。
- 10 2. 根据权利要求 1 的电子元件, 其中所述的膜包括至少二种陶  
瓷化合物成分, 这些成分选自氧化铅 ( $PbO$ )、二氧化硅 ( $SiO_2$ )、氧  
化铝 ( $Al_2O_3$ ) 和烧结的压电陶瓷。
3. 根据权利要求 1 的电子元件, 其中所述膜的厚度为  $0.5-7.0\mu m$ 。
- 15 4. 一种多层压电元件, 其中包括:  
一种包括多个压电陶瓷层和内部电极层的构件, 其中交替地叠积  
多个内部电极层和压电层, 并露出内部电极层的边缘; 和  
一个玻璃绝缘部分, 将包括玻璃绝缘材料的颗粒沉积在所述构件  
的内部电极层露出的边缘上,
- 20 其中所述的玻璃绝缘部分包括具有玻璃绝缘材料的玻璃绝缘  
层, 玻璃绝缘层是在内部电极层露出的边缘上形成的。
5. 根据权利要求 4 的多层压电元件, 其中的玻璃绝缘层是在内  
部电极层露出的边缘上和压电陶瓷层的表面上均匀形成的。
6. 根据权利要求 4 的多层压电元件, 其中所述玻璃绝缘部分的  
25 玻璃绝缘层是采用电泳沉积和热处理沉积的。
7. 根据权利要求 4 的多层压电元件, 其中玻璃绝缘层的厚度为  
 $0.3-10\mu m$ 。
8. 根据权利要求 6 的多层压电元件, 其中形成玻璃绝缘层的热  
-处理温度低于多层压电元件的煅烧温度, 这种玻璃绝缘层包括下列  
30 成分之一:  
一种基于单一成分的玻璃成分;  
一种基于包括多种成分的混合成分的玻璃成分;

一种基于在其玻璃基质中分散有压电陶瓷的单一成分的玻璃成分；和

一种基于在其玻璃基质中分散有压电陶瓷的混合成分的玻璃成分。

5        9. 根据权利要求 8 的多层压电元件，其中在玻璃绝缘层中包含的压电陶瓷是与多层压电层相同的压电陶瓷。

10       10. 根据权利要求 4 的多层压电元件，其中玻璃绝缘层包括 10-80%（重量）的  $\text{PbO}$ 、10-80%（重量）的  $\text{SiO}_2$ 、0-50%（重量）的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、和 0-50%（重量）的与多层压电层相同的压电陶瓷。

11. 根据权利要求 4 的多层压电元件，其中多层压电元件用于压电致动器。

12. 一种制造多层压电陶瓷电子部件的方法，其中包括以下步骤：

将压电陶瓷粉末混合在粘结剂溶液中，从而制成泥浆；

15       由泥浆制造压电陶瓷未烧结片；

通过交替叠积多层压电陶瓷未烧结片和内部电极，制造多层压电陶瓷元件；

烧结多层压电陶瓷元件；

20       在烧结的多层压电陶瓷元件的边缘上，形成为内部电极导电的接线电极；

在烧结的多层压电陶瓷元件的表面上，涂覆包括玻璃绝缘材料的玻璃绝缘膏剂；和

热处理玻璃绝缘膏剂，形成玻璃绝缘材料膜。

25       13. 根据权利要求 12 的方法，其中玻璃绝缘膏剂包括至少二种陶瓷化合物成分，这些成分选自氧化铅（ $\text{PbO}$ ）、二氧化硅（ $\text{SiO}_2$ ）、氧化铝（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）和烧结的压电陶瓷。

14. 根据权利要求 12 的方法，其中覆盖的玻璃绝缘膏剂的厚度为 0.5-7.0  $\mu\text{m}$ 。

15. 一种制造多层压电元件的方法，其中包括：

30       交替地叠积多个压电陶瓷层和内部电极层，并露出内部电极层的边缘；

采用电泳沉积，在内部电极层露出的边缘上电沉积包括玻璃绝缘

材料的颗粒，从而制成绝缘的元件；和

热-处理绝缘的元件，

其中在内部电极层露出的边缘和在内部电极层之间的压电陶瓷层表面至少其中之一上，形成绝缘的元件的玻璃绝缘层。

5 16. 根据权利要求 15 的方法，其中玻璃绝缘层的厚度为 0.3-10 $\mu$ m。

17. 根据权利要求 15 的方法，其中形成玻璃绝缘层的热-处理温度，低于多层压电元件的煅烧温度，该玻璃绝缘层包括下列成分之一：

10 一种基于单一成分的玻璃成分；

一种基于包括多种成分的混合成分的玻璃成分；

一种基于在其玻璃基质中分散有压电陶瓷的单一成分的玻璃成分；和

15 一种基于在其玻璃基质中分散有压电陶瓷的混合成分的玻璃成分。

18. 根据权利要求 17 的方法，其中在玻璃绝缘层中包括的压电陶瓷，与多层压电层中的压电陶瓷相同。

19. 根据权利要求 15 的方法，其中玻璃绝缘层包括 10-80%（重量）的 PbO、10-80%（重量）的 SiO<sub>2</sub>、0-50%（重量）的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 0-50%  
20 （重量）的与多层压电层相同的压电陶瓷。

20. 根据权利要求 15 的方法，其中多层压电元件是用于压电致动器的。

## 说明书

## 多层压电元件及其制造方法

本发明涉及一种多层压电元件及其制造方法，特别是涉及这种已经提高了可靠性的多层压电陶瓷的制造方法。

一般说来，多层压电陶瓷电子部件，是通过加工叠积的压电陶瓷制成的，该叠积的压电陶瓷，是通过交替叠积印制有银（Ag）或银-钯（Ag-Pd）合金内部电极的多层未烧结的压电陶瓷片、煅烧该叠积的压电陶瓷、及如图 11 所示，在烧结的叠积陶瓷 101 的边缘上，涂覆以银为主要成分的导电膏剂以制成接线电极 102a、102b 和 102c 而制成的。

此外，如图 12 所示，也有在烧结的压电陶瓷 101 的边缘上，露出与压电陶瓷层 103 交替叠积的内部电极 104 的产品。

上述的叠积压电陶瓷电子部件，经过煅烧，可能在烧结的压电陶瓷层内产生许多微小孔，所以长时间在高温和高湿度下使用，水分会进入孔中，从而使内部电极之间的绝缘不良。

作为对此的一项措施，如图 13 所示，在烧结的压电陶瓷 1 的表面上形成一层有机树脂表面膜 105，以防水分的侵入或渗透。然而，采用有机树脂表面膜 105，完全避免水分的侵入是困难的，通过长时间使用，例如作为电极材料的银发生迁移，绝缘的性能下降，不可避免地会造成短路。

在将多层压电元件小型化或结构复杂的情况下，多层压电元件有时会在其侧面露出内部电极层的边缘。如果在水分能渗透到边缘的条件下，对内部电极层施加电压，以驱动多层压电元件，则构成内部电极层的金属就会电离，引起所谓的迁移现象，金属响应电场在电极之间位移。对于内部电极层，由于节约成本，一般采用银合金为主要成分，例如 Ag-Pd 合金。然而，在包含含银合金的内部电极层中，容易发生迁移，在极端情况下，在相对的内部电极层之间形成包含银等的金属桥。结果，金属桥时常在相对的内部电极层之间引起电短路，可能失去可靠性。

特别是在高温、高湿度和高电场的条件下，会加速这种迁移。于是在设计上采用下列各种措施提高了耐湿性。

(1) 一种采用树脂膜绝缘材料或玻璃绝缘层涂覆多层压电元件外表面的方法。

(2) 一种采用二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )绝缘材料涂覆多层压电元件外表面的方法。

5 例如, 日本专利-A-61-15382 公开一种通过减压 CVD 方法, 在内部电极层露出的部分上, 均匀地形成二氧化硅绝缘材料的技术。

(3) 一种通过干或湿转录的方法, 在多层压电元件的外表面上, 形成一层玻璃绝缘层的方法。

10 例如, 日本专利-A-7-7193 公开一种技术, 该技术是在干转录纸上或湿转录纸上形成一层玻璃绝缘膏剂, 脱层, 然后将玻璃绝缘膏剂粘到多层压电元件的四侧上, 将其加热, 制成玻璃绝缘材料覆盖层。

(4) 另一种只在多层压电元件内部电极层露出部分上, 选择性地覆盖无机或高聚绝缘材料的方法。

15 例如, 日本专利 A-7-176802 公开一种技术, 该技术是采用电泳淀积, 只在多层压电元件内部电极层露出的部分上, 选择性地粘附压电陶瓷之类的无机材料颗粒或聚亚胺之类的高聚物, 在其上形成覆盖层。

(5) 在多层压电元件中形成的带孔的构件中, 孔中充满填料, 在孔中露出内部电极层边缘的部分上形成覆盖层。

20 例如, 日本专利-A-10-136665 公开一种在多层压电元件中形成的带孔的构件, 孔中充满软填料, 如硅树脂或脲烷树脂, 在这些孔的露出内部电极层边缘的部分上形成覆盖层, 从而提高了耐湿性。

然而, 从下面提到的观点看, 依靠上述的措施, 还不能全面提高多层压电元件的可靠性。

25 根据上述的措施(1), 如果在多层压电元件的外面覆上一层树脂膜, 产生的耐湿作用差, 仍有可靠性问题。在采用普通方法, 在多层压电元件的外面覆盖玻璃绝缘层的情况下, 提高了耐湿性, 但如果玻璃绝缘层和压电陶瓷之间弹性模量差别很大, 在驱动多层压电元件时, 玻璃绝缘层可能妨碍压电陶瓷的位移。

30 根据上述的措施(2), 耐湿性得到提高, 但在驱动多层压电元件, 使拉伸应力反复作用于二氧化硅膜时, 二氧化硅膜很容易破裂。在二氧化硅膜出现破裂时, 又涉及到内部电极层边缘露出的问题, 造

成可靠性变差。

就制备预定厚度的二氧化硅膜而言，较长的加工时间会导致成本的增加。

5 根据上述的措施（3），如果多层压电元件的外面用玻璃绝缘层覆盖，当在高湿度下使用时，耐湿性提高，出现缺陷的比率下降，但在类似措施（1）的条件下使用时，玻璃绝缘层和压电陶瓷之间弹性模量的差别很大，玻璃绝缘层可能会妨碍压电陶瓷的位移。

10 根据措施（4），耐湿性得到提高，由于绝缘材料只选择性地覆盖在内部电极层露出的部分上，在驱动多层压电元件时，拉伸应力反复作用在无机覆层上，能抑制破裂现象。因此，可靠性大大增加。此外，与措施（2）对比，根据电泳沉积，绝缘材料的覆盖时间缩短，又能扼制成本的增加。

15 然而，由于只在内部电极层露出的部分上形成绝缘材料，所以在没有形成绝缘材料的部分上，例如，在内部电极层之间，压电陶瓷层的耐湿性不够，特别是在压电陶瓷层内有孔存在时，存在使可靠性变差的可能性。

根据措施（5），在孔露出的部分上提高了耐湿性，但内部电极层在外部露出的部分上，应单独形成另一个覆层。

20 鉴于上述的问题，本发明的目的是提供一些多层压电陶瓷电子部件及其制造方法，尽管在高温、高湿度的大气下长时间使用这些部件，也不至于引起绝缘电阻的下降。

25 本发明的另一个目的，是提供一些多层压电陶瓷电子部件及其制造方法，这些元件能保持很好调节的位移特性，且不至于引起绝缘电阻的下降

此外，本发明的目的是提供一种制造可靠性极高的多层压电元件的方法及其产品，该压电体由于在露出多层压电元件的内部电极层边缘的侧面部分上均匀地形成玻璃绝缘层来抑制缺陷，从而有优异的可靠性。

30 本文将术语“玻璃绝缘层”被定义为包含无定形的无机化合物的并能完全抑制缺陷以防止水分渗透的覆层。

在根据本发明第一方面的多层压电陶瓷电子部件中，烧结的压电

陶瓷是主要元件，其中包括多个交替叠积的内部电极层和压电层，在其边缘上具有为内部电极导电的接线电极，在其表面上具有玻璃绝缘材料膜。

5 在根据本发明第二方面的多层压电陶瓷电子部件中，在烧结的压电陶瓷表面上，制成玻璃绝缘材料膜，该材料包括任意二种或多种陶瓷化合物的成分，这些成分选自氧化铅（ $PbO$ ）、二氧化硅（ $SiO_2$ ）、氧化铝（ $Al_2O_3$ ）和烧结的压电陶瓷。

在根据本发明第三方面的多层压电陶瓷电子部件中，在烧结的压电陶瓷表面上，制成玻璃绝缘材料膜，其厚度为  $0.5-7.0\mu m$ 。

10 在根据本发明第四方面制造多层压电陶瓷电子部件的方法中，该方法包括将压电陶瓷粉末混合在一种粘结剂溶液中，制成泥浆；由泥浆制成未烧结的压电陶瓷片；通过交替叠积多层未烧结的压电陶瓷片和内部电极制造多层压电陶瓷；烧结多层压电陶瓷层，然后在烧结陶瓷的边缘上，形成烧结压电陶瓷内部电极导电的接线电极；烧结多  
15 层压电陶瓷，接着在烧结的压电陶瓷的表面上，涂覆一层玻璃绝缘膏剂；热处理膏剂，形成玻璃绝缘材料薄膜。

在根据本发明第五方面制造多层压电陶瓷电子部件的方法中，在烧结的压电陶瓷表面上覆盖一层玻璃绝缘膏剂，膏剂中包括任何二种或多种陶瓷化合物的成分，这些成分选自氧化铅（ $PbO$ ）、二氧化硅  
20 （ $SiO_2$ ）、氧化铝（ $Al_2O_3$ ）和烧结的压电陶瓷。

在根据本发明第六方面制造多层压电陶瓷电子部件的方法中，在烧结的压电陶瓷的表面上，覆盖一层玻璃绝缘材料膜，其厚度为约  $0.5-7.0\mu m$ 。

25 此外，发明人已经找到下列结构来完成上述的目的，以解决这些问题。

在一种制造多层压电元件的方法中，这种压电元件的结构是将多层压电陶瓷层和内部电极层交替地叠积配置，并露出内部电极层的边缘，本发明的第七方面包括，通过电泳沉积，在露出的边缘上，电沉积包含玻璃绝缘材料的颗粒的步骤；然后在预定的温度下进行热处理，从而只在露出的部分上，或在露出的部分上和在内  
30 部电极层的压电层的表面上，形成玻璃绝缘材料的玻璃绝缘层。

本发明的第八方面在于，在第七方面中，优选玻璃绝缘层的厚度



为  $0.3-10\mu\text{m}$ 。

本发明的第九方面在于，在第七或第八方面中，优选玻璃绝缘层的热处理温度低于多层压电元件的煅烧温度，玻璃绝缘层是由选自下列成分中的任一种成分组成的：单一的玻璃成分、多种混合材料的玻璃成分，在其玻璃基质中分散有压电陶瓷的单一成分，在其玻璃基质中分散有压电陶瓷的多种混合成分。

这些玻璃绝缘材料的软化点，优选  $500-900^{\circ}\text{C}$ 。

本发明的第十方面是很方便的，这个方面在于，在第九方面中，当玻璃绝缘层中包含压电陶瓷时，这种压电陶瓷与构成多层压电元件的压电陶瓷是一样的。

本发明的第十一方面包括，在第七至第九的任一方面中，玻璃绝缘层可包含  $\text{PbO}:10-80\%$  (重量)、 $\text{SiO}_2:10-80\%$  (重量)、 $\text{Al}_2\text{O}_3:0-50\%$  (重量) 和一种与多层压电元件的压电陶瓷相同的压电陶瓷： $0-50\%$  (重量)。

本发明的第十二方面在于，在第七至第十一方面中所述的多层压电元件，可用于压电致动器。

本发明的第十三方面，是第七至第十一方面制造的多层压电元件。

图 1 是根据本发明，包括未露出内部电极的多层压电陶瓷电子部件的内部电极和未烧结陶瓷片的投影图。

图 2 是根据图 1 的多层压电陶瓷电子部件的剖面图。

图 3 是根据本发明，包括露出内部电极的多层压电陶瓷电子部件的内部电极和未烧结陶瓷片的投影图。

图 4 是根据图 3 的多层压电陶瓷电子部件的剖面图。

图 5 是多层压电元件结构的投影示意图。

图 6 (a) 是沿图 5 的 A-A 线的剖面图。

图 6 (b) 是沿图 5 的 B-B 线的剖面图。

图 7 是根据本发明加工多层压电元件的工艺流程图；

图 8 是根据本发明的主要部件示意图；

图 9 是根据本发明的电泳淀积一个实例的示意图；和

图 10 (a) 是采用根据本发明的电泳淀积，在内部电极层上电沉

积玻璃颗粒过程的示意图；和

图 10 (b1) 和 10 (b2)，是对采用本发明的电泳沉积制成的玻璃电沉积层进行热处理形成的玻璃绝缘层的示意图。

图 11 是根据常规实例，未露出内部电极的多层压电陶瓷电子部件的投影图。

图 12 是根据常规实例，露出内部电极的多层压电陶瓷电子部件的投影图。

图 13 是根据常规实例，具有绝缘树脂膜的多层压电陶瓷电子部件的剖面图。

10

下面参考图 1-4 说明本发明的第一个实施方案。如图 1 所示，所示的多层压电陶瓷电子部件是由烧结的多层陶瓷组成的，其制造方法包括，采用 Ag 或 Ag-Pd 合金导电的膏剂绘制图案，在未烧结的压电陶瓷片 113 表面的不同电极位置上，印制内部电极 110、111 和 112，交替地叠积多层未烧结的压电陶瓷片 113 和内部电极 110、111、112，制成多层压电陶瓷，然后煅烧多层压电陶瓷。

在烧结的多层陶瓷中，将 Ag 是主要成分的导电膏剂涂覆在烧结的多层陶瓷 101 的边缘上，形成为内部电极 110、111 和 112 导电的接线电极 114。接线电极 114 如图 12 中的 102a、102b 和 102c。此外，在烧结的压电陶瓷的表面上，覆盖一层玻璃绝缘材料膜 115，玻璃绝缘材料包含任意二种或多种陶瓷化合物的成分，这些成分选自氧化铅 (PbO)、二氧化硅 (SiO<sub>2</sub>)、氧化铝 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 和烧结的压电陶瓷。

在如此构成的多层压电陶瓷电子部件中，采用水分不可透的细玻璃绝缘材料膜 115 保护烧结的压电陶瓷的表面，所以在高温和高湿度大气下长时间工作时，能够避免内部电极之间绝缘不良的问题，和由迁移引起的绝缘不良，确保位移量，从而能够制成具有高可靠性和高耐久性的产品。

除了图 1 和 2 所示的那些未露出的内部电极以外，多层压电陶瓷电子部件可由该烧结的压电陶瓷组成，其中除了图 3 所示的未烧结的压电陶瓷片 113 的两长度边缘，和图 4 所示的内部电极 110'、111'和 112'露出的边缘以外，内部电极 110'、111'和 112'全是印制的。

制造多层压电陶瓷电子部件的方法包括，首先加入预定量的有机

粘结剂作为压电陶瓷煅烧粉末的主要成分，再加入溶剂，在球磨机中充分混合，制成压电陶瓷料浆，然后采用辊式敷涂器将料浆在聚酯膜上制成薄膜，在聚酯膜上加热到 80-100℃ 干燥薄膜，将其冲孔，制成 20μm 厚的未烧结片。

5 就制造内部电极而言，将 Ag 粉、Pd 粉和乙基纤维素溶解在丁基卡必醇和萘品醇中，搅拌混合，制成导电的膏剂。采用具有所需图案的丝网，将这种导电的膏剂印制在未烧结的压电陶瓷片的一侧上，然后干燥，制成内部电极。

其次，交替地叠积多个未烧制的压电陶瓷片和内部电极，将 20 片未印制内部电极的未烧结陶瓷片（片厚：15μm），叠积在最外层的上部和下部。然后将叠积的压电陶瓷加热到约 60℃，同时在叠积的方向上施加压力，进行加压粘结。

将叠积的压电陶瓷加入炉中，以便烧去有机粘结剂，保持加热温度 1060℃ 煅烧 2 小时，再以 200℃/h 的速度将温度降至 600℃，冷却到室温，制成煅烧的压电陶瓷。通过这一步骤，烧去有机粘结剂，孔点布在烧结的压电陶瓷层中。

至于制备煅烧的压电陶瓷膜，采用合成树脂，例如乙基纤维素或丙烯酸树脂和甲基乙基酮（MEK）溶剂，分散任意二种或多种陶瓷化合物（以后称作“与元件相同的材料”）成分的粉末，这些成分的粉末选自氧化铅（PbO）、二氧化硅（SiO<sub>2</sub>）、氧化铝（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）和烧结的压电陶瓷，从而制成调节到适宜粘度的玻璃绝缘膏剂。

通过例如浸涂或旋涂，将绝缘的玻璃膏剂均匀地涂覆在烧结的压电陶瓷表面上，然后在空气气氛的炉中，在温度约 800℃ 下热处理 20 分钟。通过这一步骤，能在烧结的压电陶瓷表面上形成一层玻璃绝缘材料膜，玻璃成分透过烧结的压电陶瓷层并扩散，以充满孔。

烧结的压电陶瓷随后进行切割加工，制成压电陶瓷芯片，最后采用由 Ag 粉、Pd 粉、玻璃料和赋形剂组成的导电膏剂，涂覆露出内部电极的压电陶瓷芯片的边缘，在膏剂干燥后，使炉的内部为空气气氛，在约 720℃ 下煅烧 20 分钟，以制成接线电极。

30 在其边缘未露出内部电极的构件中，通过高温高湿度实验（实验条件：温度：85℃，相对湿度：85%RH），对 100 片本发明的产品和具有玻璃绝缘材料膜的常规产品进行对比评价，玻璃绝缘材料的组成为：

PbO:30%(重量)、SiO<sub>2</sub>:10%(重量)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:10%(重量)和与元件相同的材料(72A材料):50%(重量)。结果示于表1中。

[表 1]

	序号	膜厚度(μm)	位移	实验时间和累积不良百分率(%)						
				10h	24h	50h	100h	250h	500h	1000h
根据本发明的多层压电陶瓷电子部件的不良百分率	1	0.3	○	0	0	0	0	0	50	100
	2	0.5	○	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	○	0	0	0	0	0	0	0
	4	3	○	0	0	0	0	0	0	0
	5	5	○	0	0	0	0	0	0	0
	6	7	○	0	0	0	0	0	0	0
	7	10	×	0	0	0	0	0	0	0
根据常规产品的多层压电陶瓷电子部件的不良百分率	8	---	×	100						

5

本发明的产品,通过在烧结的压电陶瓷表面上,制成厚度 0.5-7.0μm 的玻璃绝缘材料膜,能够防止水分的渗透,减少绝缘不良的现象,并具有高可靠性和耐久性。如果玻璃绝缘材料的膜厚度为约

0.3 $\mu\text{m}$ , 在这样薄的情况下, 高温高湿度实验的耐久性至多 1000 小时。如果玻璃绝缘材料的厚度为约 10 $\mu\text{m}$ , 在这样厚的情况下, 这种产品是不合乎要求的, 因为它对烧结的压电陶瓷的位移特性有影响。

另一方面, 常规产品的有机树脂表面膜, 不能完全避免水分的侵入, 这种产品只能耐 10 小时的高温高湿度实验。

在其边缘露出内部电极的那些构件中, 通过高温高湿度实验 (实验条件: 温度: 85 $^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度: 85%RH), 对本发明产品和具有与上述组成相同的玻璃绝缘材料膜的常规产品进行对比评价。结果示于表 2 中。

[表 2]

	序号	膜厚度 ( $\mu\text{m}$ )	位移	Testing Time and Percentage of Accumulated Poorness (%)						
				10h	24h	50h	100h	250h	500h	1000h
根据本发明的多层压电陶瓷电子部件的不良百分率	9	0.3	○	100						
	10	0.5	○	0	0	0	0	0	10	50
	11	1	○	0	0	0	0	0	0	0
	12	3	○	0	0	0	0	0	0	0
	13	5	○	0	0	0	0	0	0	0
	14	7	○	0	0	0	0	0	0	0
	15	10	×	0	0	0	0	0	0	0
根据常规产品的多层压电陶瓷电子部件的不良百分率	16	---	×							

虽然本发明的产品在边缘露出内部电极, 如果在烧结的压电陶瓷的表面上, 施加厚度为  $0.5-7.0\mu\text{m}$  的玻璃绝缘材料膜, 制得的这种构件就能避免水分的侵入, 减少绝缘不良的现象, 并具有高可靠性和耐久性。 如果玻璃绝缘材料的膜厚度为约  $0.3\mu\text{m}$ , 对高温和高湿度实验能耐约 10 小时, 如果玻璃绝缘材料的膜厚度为约  $10\mu\text{m}$ , 在这样厚

的情况下，与未露出内部电极的构件相似，这种产品是不符合要求的，因为它能影响烧结的压电陶瓷的位移特性。

另一方面，常规产品的有机树脂表面膜不能避免水分的侵入，这种产品对高温高压实验只能耐 10 小时。

5 下面将参照图 5-10(b2) 具体地说明本发明的其它实施方案。图 5 是表示根据本发明的多层压电元件 1 结构的示意投影图，图 6(a) 是沿图 5 的 A-A 线的剖面图，图 6(b) 是沿图 5 的 B-B 线的剖面图。如图 5、6(a) 和 6(b) 所示，多层压电元件 1 是由压电陶瓷层 2、对压电陶瓷层 2 施加电场的内部电极层 3、为内部电极层 3 露出的边缘与在内部电极层 3 之间的压电陶瓷层 2 绝缘的玻璃绝缘层 4、和为  
10 内部电极层 3 施加电压的接线电极（未示出）组成的，其结构是这样的，内部电极层 3 的边缘，每隔一层就露在压电陶瓷层 2 的外面。

图 7 是根据本发明制备多层压电元件 1 的工艺流程图，图 8 是图 7 的主要部件示意图。如图 7 所示，称量压电陶瓷原料，并将其置于  
15 水中，用  $ZrO_2$  球混合 (S1)，干燥并煅烧 (S2)。接着在水中用  $ZrO_2$  球将其研磨 (S3)，干燥并与有机溶剂和树脂成分捏合，以制成膏剂 (S4)。然后将膏剂涂敷在聚酯膜上，加工成片，从而制成未烧结片 (S5)。

在包含压电陶瓷的未烧结片上，通过例如印制所需图案的方法，  
20 将主要成分为 Ag 和 Pd 的导电膏剂以制成内部电极层 3 (S6)，加工 (S10) 以预定的层叠积的未烧结片 (S7-S9)。使叠积的未烧结片烧去粘结剂 (S11)、煅烧 (S12) 和加工 (S13)，以制成所需形状的成形元件 7。成形元件 7 露出图 8 所示的内部电极层 3 的侧面。在成型元件 7 上制备接线电极 5 (S14-S15)，然后通过电泳沉积，将  
25 预定的玻璃颗粒电沉积 (S16) 到内部电极层 3 露出的侧面上，干燥 (S17)，热处理 (S18)，制成多层压电元件 1 (S19)。  
(玻璃绝缘层)

在本发明的多层压电元件 1 上制造玻璃绝缘层 4，可以只在内部电极层 3 的边缘露在压电陶瓷层 2 外面的部分上进行。同样如图 5、6  
30 (a) 和 6(b) 所示，优选的是在内部电极层 3 的边缘露在压电陶瓷层 2 外面的部分上和内部电极层 3 之间的压电陶瓷层的表面上进行。玻璃绝缘层 4 提高多层压电元件 1 的耐湿性和提高可靠性。此外，在

驱动多层压电元件 1 时, 玻璃绝缘层 4 对所引起的位移障碍抑制到足够低。

(玻璃绝缘层的制造方法)

制造这种玻璃绝缘层 4 的方法要求以下各项。

5 (A) 至少可在内部电极层 3 露在压电陶瓷层 2 外面的部分上制成玻璃绝缘层 4。

(B) 可按预定厚度制成均匀的玻璃绝缘层 4, 厚度具有良好的可控性和极好的精确性。

(C) 制造玻璃绝缘层 4 的速度足够快, 不会影响生产效率。

10 作为制备能满足这些要求的玻璃绝缘层 4 的方法, 采用一种将电泳沉积与热处理相结合的方法。下面将参照图 9、10(a)、10(b1) 和 10(b2) 说明采用电泳沉积制造玻璃绝缘层的方法。

(电泳沉积)

本发明采用的电泳沉积不受具体的限制, 可以采用已知的方法。

15 如图 9 所示, 这种电泳沉积包括, 首先将成形元件 7 和一个相反的电极 6 浸入分散有预定的玻璃颗粒 10 的悬浮液 11 中, 成形体 7 在内部电极层 3 露出的部分上具有用于电泳沉积的接线电极 5。将接线电极 5 和相反的电极 6 电连接。随后由设在相反的电极 6 和接线电极 5 之间的电源施加预定的电压。在这种方法中, 分散在悬浮液 11 中的玻璃颗粒 10 沿电场向内部电极层 3 露出的部分移动, 以致能通过玻璃颗粒 10 的选择性沉积, 在内部电极 3 露出的边缘上, 制成玻璃电沉积的成形元件 8。

20

然后, 使玻璃电沉积的成形元件 8 在预定的温度下在空气中进行热处理, 以制成均匀的玻璃绝缘层 4。这时, 规定热处理温度在玻璃颗粒 10 的软化点以上和多层压电元件的煅烧温度以下, 使玻璃颗粒 10 软化呈适度流体化, 所以能够制成足以抑制缺陷的均匀的玻璃绝缘层 4。如果随后在软化的玻璃颗粒 10 流体化范围以上的较低温度下, 进行较短时间的热处理, 例如如图 10(b1) 所示, 就能只在内部电极层 3 露出部分的附近, 制成均匀的玻璃绝缘层 4。

25

30 另一方面, 如果确定热处理温度在玻璃颗粒 10 的软化点以上, 并在适度扩大软化的玻璃颗粒 10 的流体化范围的较高温度下, 进行较长时间的热处理, 例如如图 10(b2) 所示, 能够在内部电极层 3



露出的部分上，和在内部电极层 3 之间的压电陶瓷层 2 的表面上，制成玻璃绝缘层 4。

5 在内部电极层 3 上和在内部电极层 3 之间的压电陶瓷层 2 上，制成玻璃绝缘层 4 的情况下，如果在压电陶瓷层 2 的表面上有细孔存在，则软化的玻璃颗粒 10 就会进入并充满孔，从而能够防止水分从压电陶瓷层 2 的表面渗入多层压电元件 1 的内部。

10 玻璃颗粒 10 通过电泳沉积电沉积在成形元件 7 内部电极层 3 的露出部分上，在玻璃颗粒 10 软化点以上和低于多层压电元件煅烧温度的温度下进行热处理，从而能只在内部电极层 3 的露出部分上，或在内部电极层 3 的露出部分上，和在内部电极层 3 之间的压电陶瓷层 2 上，制成玻璃绝缘层 4。在这种方法中，由于能根据成形元件 7 的性能或对多层压电元件 1 要求的特性，制成玻璃绝缘层 4，所以在较好的协调下，生产能力和成本都能满足要求。

(玻璃颗粒通过电泳沉积的电沉积)

15 图 10(a) 用示意图示出玻璃颗粒 10 通过电泳沉积在成形元件 7 上电沉积的过程，图 10(b1) 和 10(b2) 用示意图示出通过对图 10(a) 所示的玻璃电沉积层进行热处理制成玻璃绝缘层的方法。

20 如图 10(a) 所示，在电泳沉积中，电沉积的物质如玻璃颗粒 10 沿电场从相反的电极向接线电极移动，达到内部电极层 3 露出的部分，形成初始的核心（未示出）。随后，初始的核心逐渐成长，形成例如半径为  $r$  的半球形的岛状层 N。已经知道，这种岛状层 N 的半径  $r$  逐渐长大，与相邻的岛状层 N 接触并结合起来，至少形成比较平的层（未示出）。

25 本文将由电泳沉积形成的岛状层 N 的构件，或将由较平的层组成的岛状构件称作“玻璃电沉积层”。

根据本发明，如图 10(a) 所示，成形元件 7 采用电泳沉积处理，玻璃电沉积层在预定的温度下进行热处理。采用这些方法，足以制成厚度均匀能够抑制缺陷的玻璃绝缘层 4。

30 在对玻璃电沉积层进行这种热处理时，玻璃颗粒熔化，制成均匀的无定形的玻璃绝缘层 4。通过适宜地调节热处理的温度和时间，可将如此制成以下二种类型之一的玻璃绝缘层 4 的形状。即通过将热处理温度调节得较低，或将时间调节得较短，可只在图 10(b1) 所示内

部电极层 3 露出部分的附近，制成玻璃电沉积层 4。另一方面，通过将热处理温度调节得较高，或将时间调节得较长，如图 10(b2) 所示，可在内部电极层 3 的露出部分上，和在内部电极层 3 之间的压电陶瓷层 2 上，制成玻璃电沉积层 4。正如上面已经说明的，通过适宜地调节热处理的条件，可使玻璃绝缘层 4 的形状与多层压电元件 1 要求的质量和特性相适应。

在本发明中，除在内部电极层 3 露出的部分和在内部电极层 3 之间的压电陶瓷层 2 的表面上外，优选在最上部内部电极层 3 上面的压电陶瓷表面上和在最下部内部电极层 3 下面的压电陶瓷表面上，或在至少其中之一的表面上，制成玻璃电沉积层 4。

(制造玻璃绝缘层的热处理温度)

根据本发明，制造玻璃绝缘层 4 的热处理温度条件是在这些范围内，热处理温度不会对压电陶瓷层 2 和内部电极层 3 产生不利的影响，使电沉积的玻璃颗粒软化并制成均匀层。在压电陶瓷层 2 由 PZT { $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ } 基的陶瓷材料组成，并且内部电极层 3 由上述的 Ag-Pd 组成时，优选由玻璃电沉积层制成的玻璃绝缘层 4 的热处理温度  $\leq 1000^\circ\text{C}$ ，该温度低于多层压电元件的煅烧温度。

(玻璃绝缘层的厚度)

玻璃绝缘层 4 的厚度条件，是在驱动多层压电元件 1 时，玻璃绝缘层 4 将位移障碍抑制到足够低，和使多层压电元件 1 的内部电极层 3 外露部分绝缘，并使其具有足够耐湿性。作为满足这些条件的玻璃绝缘层 4，厚度优选  $0.3\text{--}10\mu\text{m}$ 。在  $< 0.3\mu\text{m}$  时，具有的耐湿性不够，在  $> 10\mu\text{m}$  时，在驱动多层压电元件 1 时，位移障碍过大，在用作压电致动器时，可能会出现麻烦。

此外，从多层压电元件 1 的操作性能更稳定的观点，或从产品质量离差较小的观点，玻璃绝缘层 4 的厚度更优选  $0.5\text{--}7\mu\text{m}$ 。

(玻璃绝缘层的化学组成)

对于根据本发明多层压电元件 1 的玻璃绝缘层 4 的化学成分，必须在进行热处理时，温度和处理的时间不能对内部电极层 3 产生不良影响，并且制成的玻璃绝缘层厚度，在驱动多层压电元件时不能妨碍位移。

具有上述优选的热处理温度范围和适宜的大弹性模量的组成玻

璃绝缘层 4 的材料, 可以列举的玻璃绝缘材料如  $\text{PbO}$ 、 $\text{SiO}_2$  或  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。

为使玻璃绝缘层 4 的弹性模量达到多层压电元件 1 的弹性模量, 优选将压电陶瓷加入具有上述玻璃成分的玻璃基质中, 其范围不能妨碍玻璃绝缘层 4 的无定形性质。

5 满足上述条件的玻璃绝缘层 4, 优选由下列成分组成。

- (1) 基于单一成分的玻璃成分。
- (2) 基于包括多种成分的混合成分的玻璃成分。
- (3) 在其玻璃基质中分散有压电陶瓷的单一成分, 和
- (4) 在其玻璃基质中分散有压电陶瓷的混合成分。

10 在上述的 (3) 和 (4) 中, 如果压电陶瓷与多层压电元件 1 中的压电陶瓷 2 相同, 则玻璃绝缘层 4 的弹性模量优选接近多层压电元件 1 的弹性模量。

在玻璃绝缘层 4 由  $\text{PbO}$ :10-80%(重量)、 $\text{SiO}_2$ :10-80%(重量)、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ :0-50%(重量)和与多层压电元件 1 中的压电陶瓷相同的压电陶  
15 瓷: 0-50%(重量)组成的情况下, 在驱动多层压电元件 1 时, 多层压电元件 1 是能将位移障碍抑制到足够低的多层压电元件, 提高了耐湿性, 提高了可靠性和耐久性, 成本相对下降。

(内部电极层)

本发明的多层压电元件 1 的内部电极层 3, 通过施加预定电压,  
20 能在压电陶瓷层 2 中产生位移, 并驱动多层压电元件 1。内部电极层 3 是在包含压电陶瓷的未烧结片上具有预定图案的膜状形式, 通过将未烧结片叠积起来, 将压电陶瓷层 2 和内部电极层 3 交替地叠积在一起, 使其成为一个对压电陶瓷层 2 施加电场的相反电极。

(对内部电极层的要求)

25 作为对内部电极层 3 的要求, 列举下列各项。

- (a) 该层能很容易地在未烧结片的预定位置上制成。
- (b) 该层以良好的附着作用在未烧制片上制成。
- (c) 在预定的温度下煅烧后, 该层能起电极的作用。
- (d) 在保持预定的电极结构时, 该层能随压电陶瓷层 2 的位

30 移而位移。

作为能满足包括经济在内的上述要求 (a)-(d) 的内部电极层, 能在较好的协调下, 尽可能快地制造它们, 一般采用 Ag-Pd 合金, 其

中以 Ag 为基础，加入适量的 Pd。可在如此制成的内部电极层 3 中，加入至少一种 Ag-Pd 合金膏剂以外的其它金属、金属氧化物或有机金属化合物。在位于多层压电元件 1 最外部位置上的内部电极层 3 的更外部上，形成压电陶瓷层 2。

5 (内部电极层的制造方法)

内部电极层的制造方法没有具体的限制，可按惯例采用已知的方法。例如，在用导电的膏剂制造内部电极层时，可依靠采用印模、涂辊、丝网或掩模将覆层印制在未烧结片上的所谓印制方法。此外，在通过干膜制法如溅射方法或蒸气沉积方法制造内部电极层 3 时，首先  
10 在未烧结片的表面上制成一层光刻胶膜，然后采用预定的掩模，利用包括曝光处理在内的光刻方法，将光刻胶膜制成预定形状的图案，接着可采用干膜制造方法制成内部电极层 3。此外，也可以将未烧结片浸在包含预定金属的电解溶液中，采用非电解的电镀方法制造。

根据本发明的多层压电元件 1，具有一些与内部电极层 3 边缘的  
15 预定位置连接的接线电极，这些接线电极通过接线端（未示出）通到外电源。

本发明的多层压电元件 1，对压电陶瓷层 2 和内部电极层 3 叠积的数目没有具体的限制（面积、厚度和宽度），至少由二层组成的多层压电元件的足够的。

20 此外，本发明的多层压电元件 1，对形状没有具体的限制，如果能够制成上述结构的玻璃绝缘层 4，那就足够了。例如，容许采用这样的形状，即在多层压电元件 1 的内部具有一些孔。

此外，本发明的多层压电元件 1 对驱动时的位移方向没有具体的限制，在每一层位上的在竖直方向上位移的所谓竖直压电作用，或在  
25 每一层位上的在水平方向上位移的所谓水平压电作用都是足够的。

(实施例)

下面将参照附图说明本发明的实施例和对比例。图 5 是本实施例多层压电元件 1 结构的示意投影图，图 6(a) 是沿图 5 的 A-A 线的剖面图，图 6(b) 是沿图 5 的 B-B 线的剖面图。如图 5、6(a) 和 6(b)  
30 所示，多层压电元件 1 包括压电陶瓷层 2、为压电陶瓷层 2 施加电场的内部电极层 3、为使内部电极层 3 露出的边缘之间的压电陶瓷层和内部电极层 3 绝缘的玻璃绝缘层 4、和为内部电极层 3 提供电压的接

线电极（未示出），其结构是这样的，每隔一层就在侧面露出内部电极层 3 的边缘表面。

（制造多层压电元件的方法）

图 7 是制造根据本发明多层压电元件 1 的工艺流程图，图 8 是图 7 中主要部件的示意图。在图 7 和 8 中，将压电陶瓷粉末、粘结剂和有机溶剂混合，制成膏剂（S1-S4），再将其制成未烧结片（S5）。将导电的材料、粘结剂和有机溶剂捏合，制成用于制造内部电极层的膏剂。

在未烧结片上，将用于制造内部电极层的膏剂印制成所需的图案（S6），然后切割成所需的尺寸（S7），叠积 30 片（S8），压制（S9）以制成未烧结片叠积元件（S10），烧去有机脱粘结剂（S11），煅烧（S12），送去加工（S13）以制成露出内部电极层 3 的侧面具有所需形状的成形元件 7。成形元件 7 在内部电极层 3 露出部分的所需位置上制成接线电极 5（S14），然后采用图 9 所示的电泳淀积进行加工。

即将多层压电元件浸入分散有玻璃颗粒 10 的悬浮液 11 中，将接线电极 5、相反电极 6 和电源 11 连接，并施加电压，从而使玻璃颗粒 10 沿电场移动，并电沉积到内部电极 3 的露出部分及其附近上（S15），制成具有接线电极 5 和玻璃沉积层的玻璃电沉积的成形元件 8。然后将玻璃电沉积的成形元件 8 干燥（S16），并在预定的温度下进行热处理（S17），以制造玻璃绝缘层 4，并将其制成多层压电元件 1 的试样（S18）。

在电泳淀积中，施加适宜大小的电压，制备实施例（1-7）的试样（S17-S18），这些实施例玻璃绝缘层 4 的厚度在本发明的规定范围内，对比例 8 未制玻璃绝缘层 4，对比例 9 的玻璃绝缘层 4 的厚度超出了本发明的规定范围。

对于每一个试样，测定并评价（S19）初始的电特性如绝缘电阻和电容，同时在加速从内部电极层 3 的迁移现象的高温和高湿度下，进行耐湿性实验（S20）以评价可靠性，研究每次实验时间（10-1000h）的累积不良率。

为了研究玻璃绝缘层 4 的厚度与位移障碍抑制率的关系，即在驱动多层压电元件 1 时抑制位移障碍的比例，对每个试样进行极化处理，采用涡流式位移测定仪测定位移。下面示出试样的结构和耐湿性

实验的条件。表 3 示出实验的结果。

(试样的结构)

外形尺寸:

5.0×5.0×3.0mm

5 压电陶瓷层:

化学组成:

$\text{Pb}_{0.96}\text{Sr}_{0.04}\{(\text{CO}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.01}\text{Ti}_{0.46}\text{Zr}_{0.53}\}\text{O}_3+\text{WO}_3$

厚度: 25μm

内部电极层:

10 Ag-Pd 合金 (化学组成的比例: Ag/Pd=70%/30%(重量))

厚度: 2μm

叠积的层数:

30 (将一层压电陶瓷层与一层内部电极层结合起来为 1 层)

接线电极:

15 Ag-Pd 合金

(制造试样的条件)

未烧结片的煅烧温度:

1000℃

(电泳淀积的条件)

20 悬浮液的组成:

玻璃颗粒+分散介质

(分散介质: 乙酸酐)

玻璃颗粒的化学组成:

PbO: 60% (重量)

25 SiO<sub>2</sub>: 20% (重量)

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 20% (重量)

悬浮液中的玻璃颗粒浓度: 1% (重量)

处理条件:

施加的电压: D.C. 10-100V

30 处理时间: 30s

处理温度: 25℃

玻璃沉积层的热处理条件: 800℃, 20min

(评价可靠性的实验)

耐湿性的实验条件:

测试室的气氛: 85/85%RH

在驱动试样时施加的电压: D. C. 50V (2kV/mm)

- 5 可靠性的评价标准: 对于绝缘电阻, 与初始值比较, 按照下列定义进行评价, 将不良定义为数量级降低三位数字的情况, 成功定义为数量级降低二位数字或不到二位数字的情况。

位移的测定条件: 在室温下施加电压 50V (2kV/mm)。

[表 3] 试样的测定和评价结果

举例	序号	玻璃绝缘层的厚度 ( $\mu\text{m}$ )	位移量 ( $\mu\text{m}$ )	抑制阻碍位移的百分数 ( $\mu\text{m}$ )	对高温和高湿度实验累积不良率百分率 (%)						
					10 h	20 h	50 h	100 h	250 h	500 h	1000 h
实施例	1	0.3	0.81	95.3	0	0	0	0	0	60	100
	2	0.5	0.80	94.1	0	0	0	0	0	0	0
	3	1.0	0.80	94.1	0	0	0	0	0	0	0
	4	3.0	0.77	90.6	0	0	0	0	0	0	0
	5	5.0	0.74	87.1	0	0	0	0	0	0	0
	6	7.0	0.73	85.9	0	0	0	0	0	0	0
	7	10.0	0.68	80.0	0	0	0	0	0	0	0
对比例	8	none	0.85	-	60	80	100	-	-	-	-
	9	15.0	0.61	71.8	0	0	0	0	0	0	0

1) 位移的测定方法: 采用涡流位移测量仪 (DC50V (2kV/mm))

5 测定在厚度内的位移

2) 以对比例 8 的位移为标准, 计算每个试样的位移量百分数。  
(测定位移和评价可靠性实验的结果)



表 3 示出在实施例 (1-7) 和对比例 (8 和 9) 中每个玻璃绝缘层 4 的厚度、位移 ( $\mu\text{m}$ )、以抑制位移障碍的程度表示的抑制阻碍位移的百分数、和进行 10-1000 小时耐湿实验的累积不良百分数。以对比例 8 的位移 ( $0.85\mu\text{m}$ ) 为标准 (100%)，计算抑制百分数。注意，对比例 8 是个无屏蔽的多层压电元件，未形成玻璃层 4。

从表 3 可以看出，在未形成玻璃绝缘层 4 的对比例 8 的情况下，在 10h 后累积不良率为 60%，在 50h 后为 100%，可靠性明显较低。在对比例 9 中，玻璃绝缘层 4 的厚度为  $15\mu\text{m}$ ，在 1000h 后的累积不良率为 0%，虽然显著地提高了可靠性，但抑制阻碍位移的百分数仍为未制成玻璃绝缘层 4 的对比例 8 的 72%，并且作为压电致动器的位移功能大大降低。

另一方面，在实施例 1-7 中，其玻璃绝缘层 4 的厚度为  $0.3-10\mu\text{m}$ ，在抑制阻碍位移的百分数为 80-95% 时，避免了位移障碍，在实施例 1 中，在 500h 后，累积不良率为 60% (玻璃绝缘层 4 的厚度为： $0.3\mu\text{m}$ )，在实施例 2-7 中 (玻璃绝缘层的厚度为： $0.5-10\mu\text{m}$ )，在 1000h 后为 0%。因此，可靠性和耐久性急剧提高。

如从实施例 (1-7) 和对比例 (8, 9) 的结果所看到的，在驱动时，本发明的多层压电元件 1，借助于所形成的足以抑制位移障碍的玻璃绝缘层 4，表现出令人满意的位移功能，而且，即使在高温和高湿度下，借助于玻璃绝缘层 4，也能够保证可靠性和耐久性，并能全面展示出预期的操作性能。

本发明并不限于这些实施例，而且就展示本发明的效果而言，还可利用各种改进。在压电元件的组成中，只要能引起位移，对只是 PZT 基陶瓷材料没有任何限制，压电元件可以采用任何改进的 PZT 或无铅的成分组成。

如果物料中包含能引起在内部电极中迁移的金属成分，那是符合本发明的目的的。如果材料在热处理玻璃以后，还能充分保证在接线电极中的作用，那是令人满意的，并且内部电极可以由实施例以外的化学组成构成。本发明不只适用于致动器，如果将本发明应用于那些施加电压较低的例如多层压电变压器，采用同样的结构可以改善耐湿性和提高可靠性。

如上所述，依据根据本发明的多层压电陶瓷电子部件及其制造方

法,如果在煅烧的压电陶瓷表面上,制成具有预定厚度的玻璃绝缘材料膜,就可以防止水分的侵入,并能避免在高温高湿度大气下长时间工作时,因水分侵入引起的内部电极之间绝缘不良的问题,以及由迁移引起的绝缘不良问题,保证了可靠性和耐久性。

5 此外,采用上述的结构,本发明具有以下作用。

第一,由于只在内部电极层露出的部分上,或在内部电极层露出的部分上和内部电极层之间的压电陶瓷层的表面上,形成玻璃绝缘层,提高了耐湿性,并能使多层压电元件具有极好的可靠性和耐久性。

10 通过将电泳淀积与在预定温度下进行的热处理组合起来,还能在内部电极层之间的压电陶瓷层上,精确地制成厚度均匀的玻璃绝缘层,如果在压电陶瓷中有细孔存在,由于玻璃层也能渗入孔的内部,所以能使多层压电元件防止水分进入其内部。

第二,由于玻璃绝缘层的厚度是规定的,所以除了上述的作用以外,还能准确地抑制玻璃绝缘层的缺陷和多层压电元件的位移障碍,提高了多层压电元件的可靠性和耐久性。

第三,在形成玻璃绝缘层时的热处理,对内部电极产生无不利的影响,玻璃绝缘层的热处理温度是特定的,所以在驱动多层压电元件时,玻璃绝缘层能够抑制位移障碍,并且制造玻璃绝缘层的成分能满足多层压电元件的各种要求。除了上述的作用以外,还充分展示了预期的功能,能够提供更适合需要的多层压电元件。

20 第四,由于加入玻璃绝缘层中的压电陶瓷是由与多层压电元件压电陶瓷相同的成分组成的,所以在驱动多层压电元件时,玻璃绝缘层基本上能以与多层压电元件相同的方式位移,除了上述的作用以外,还能尽可能快地抑制多层压电元件的位移障碍。

第五,由于玻璃绝缘层是由  $PbO$ 、 $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$  和与多层压电元件相同的压电陶瓷组成的,且相应的含量是规定的,所以使多层压电元件在所需调整下,能满足上述的作用和成本。

第六,能使压电致动器具有上述的作用。

30 第七,由于能够制得改善了可靠性、功能、成本、精确度和耐久性的多层压电元件,所以多层压电元件的应用可以扩大。

说明书附图

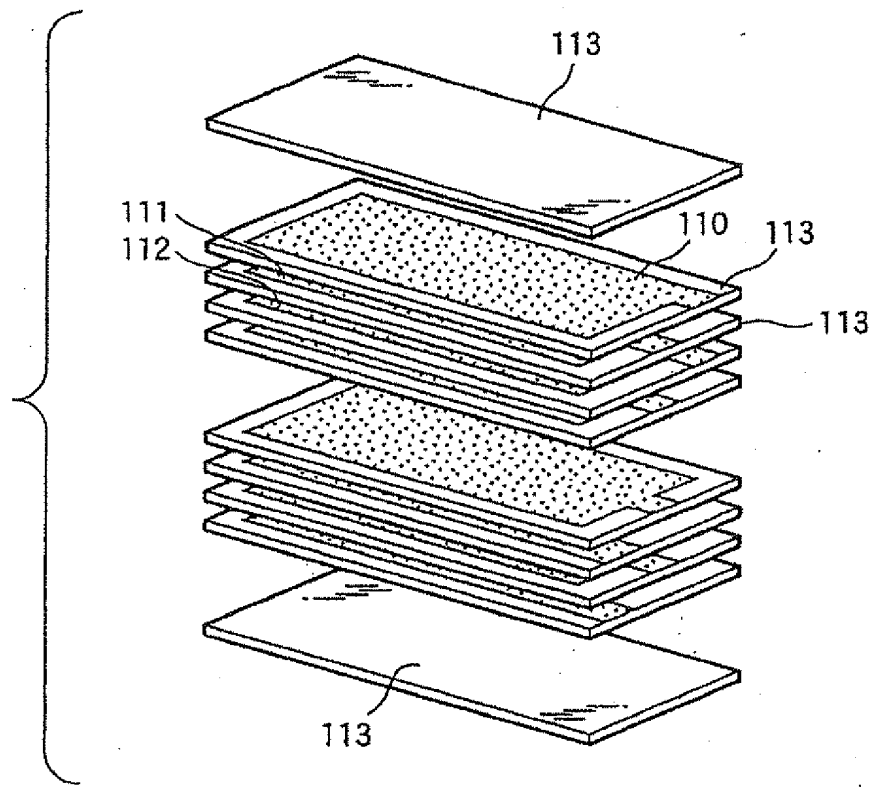


图 1

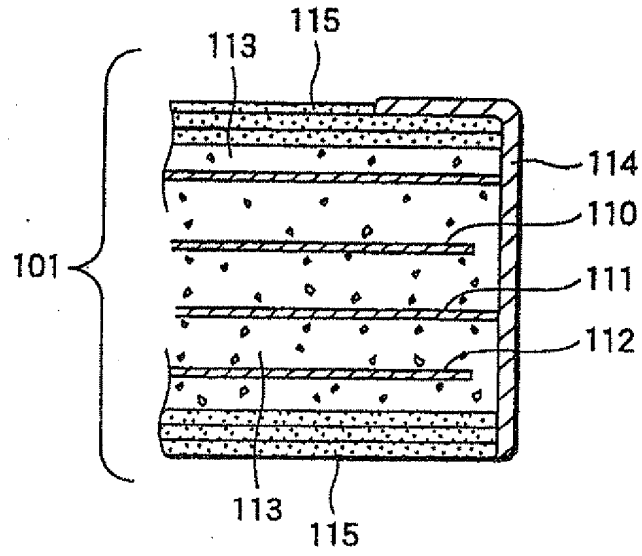


图 2

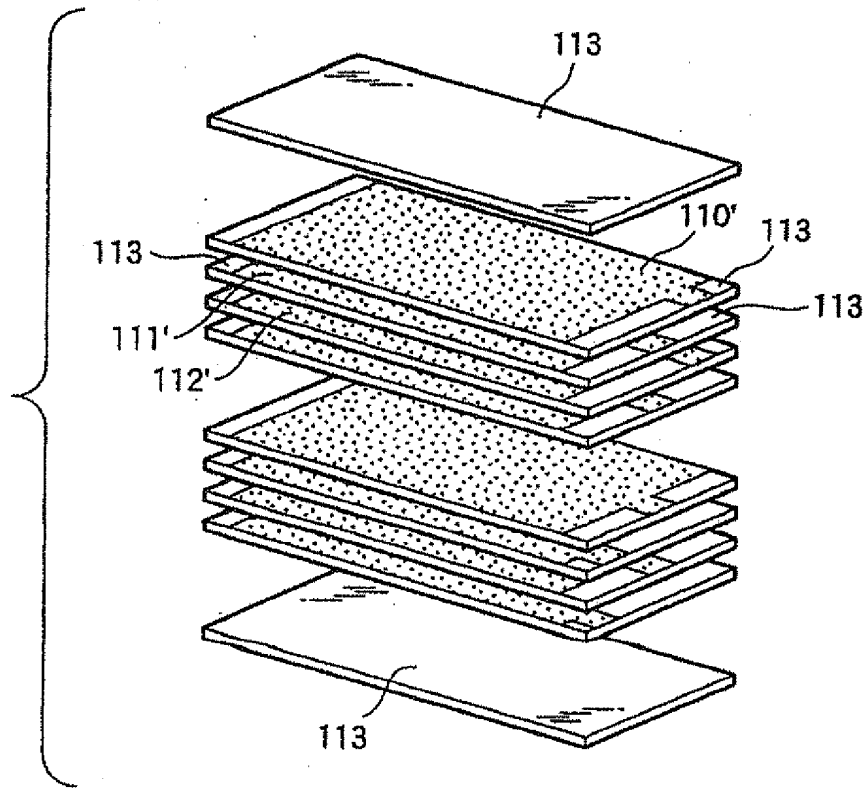


图 3

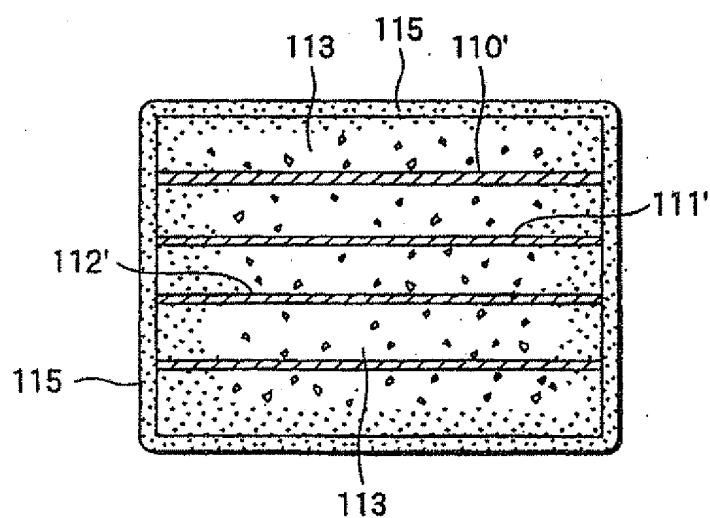


图 4

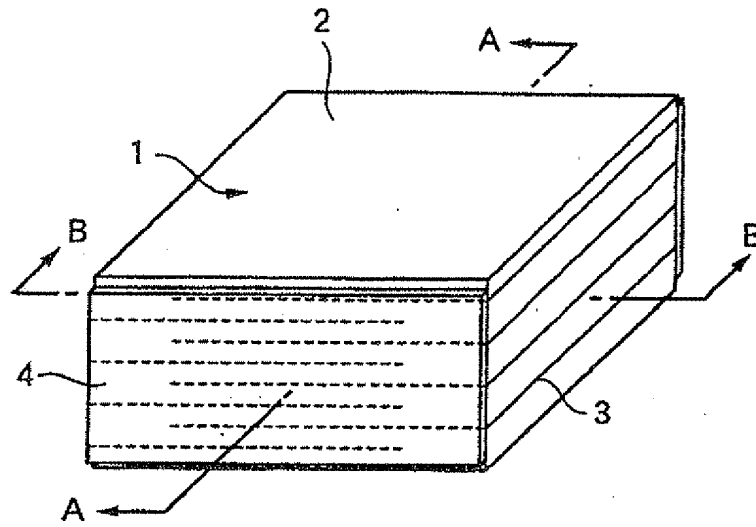


图 5

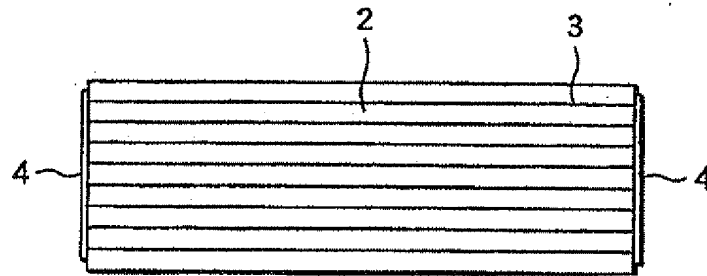


图 6(a)

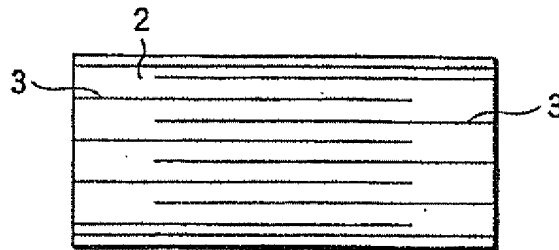


图 6(b)

图 7 制造方法和试样实验流程图

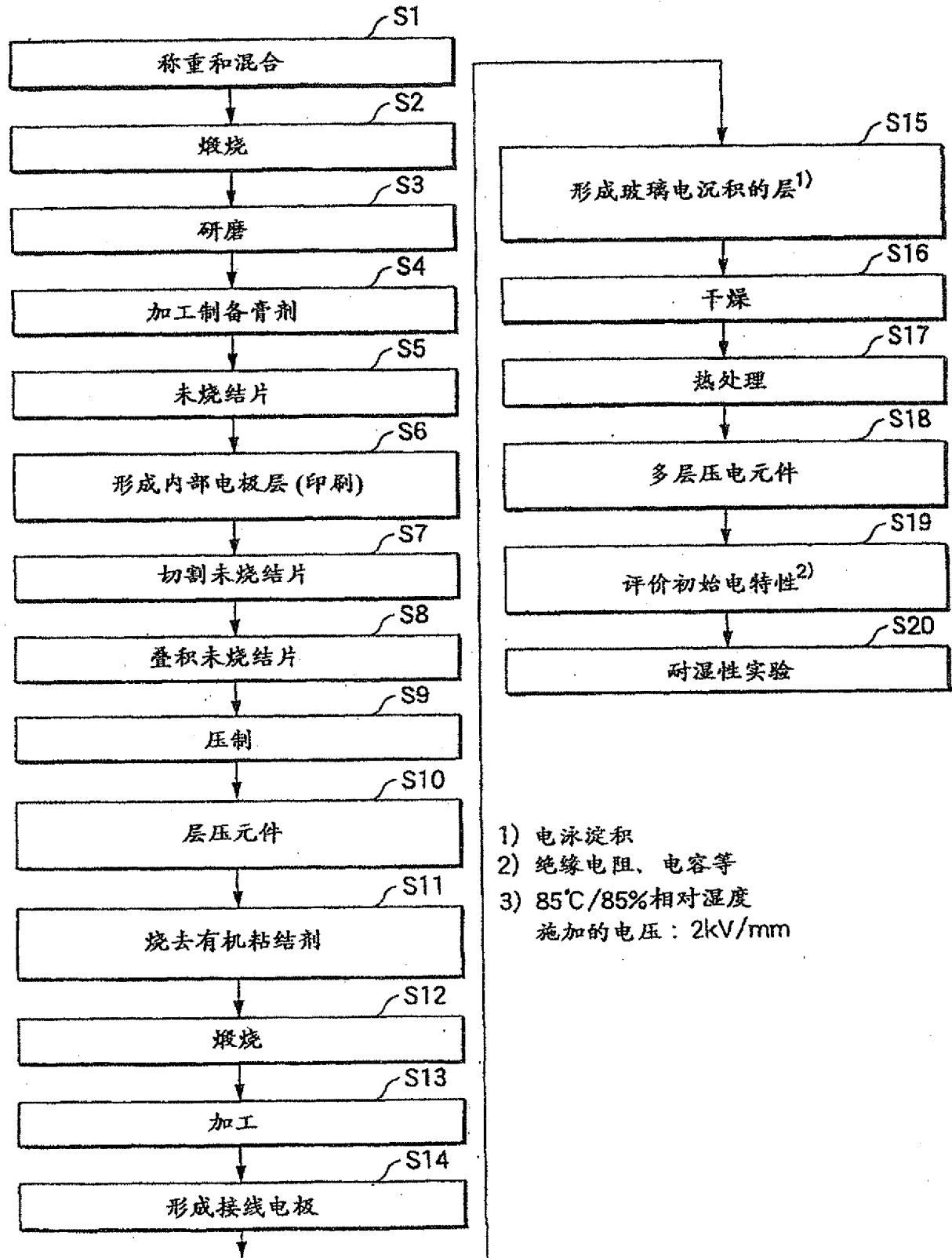
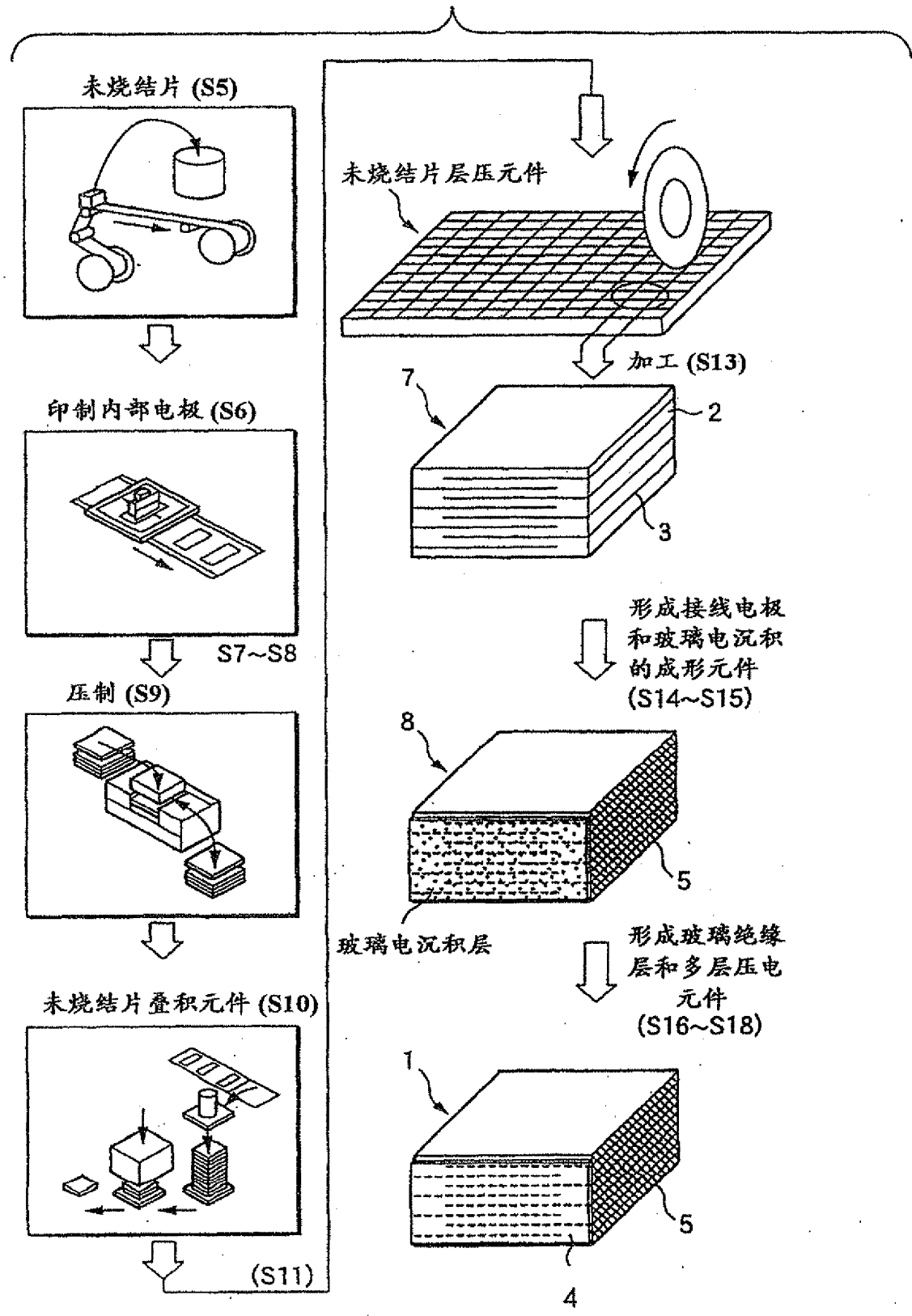


图 8





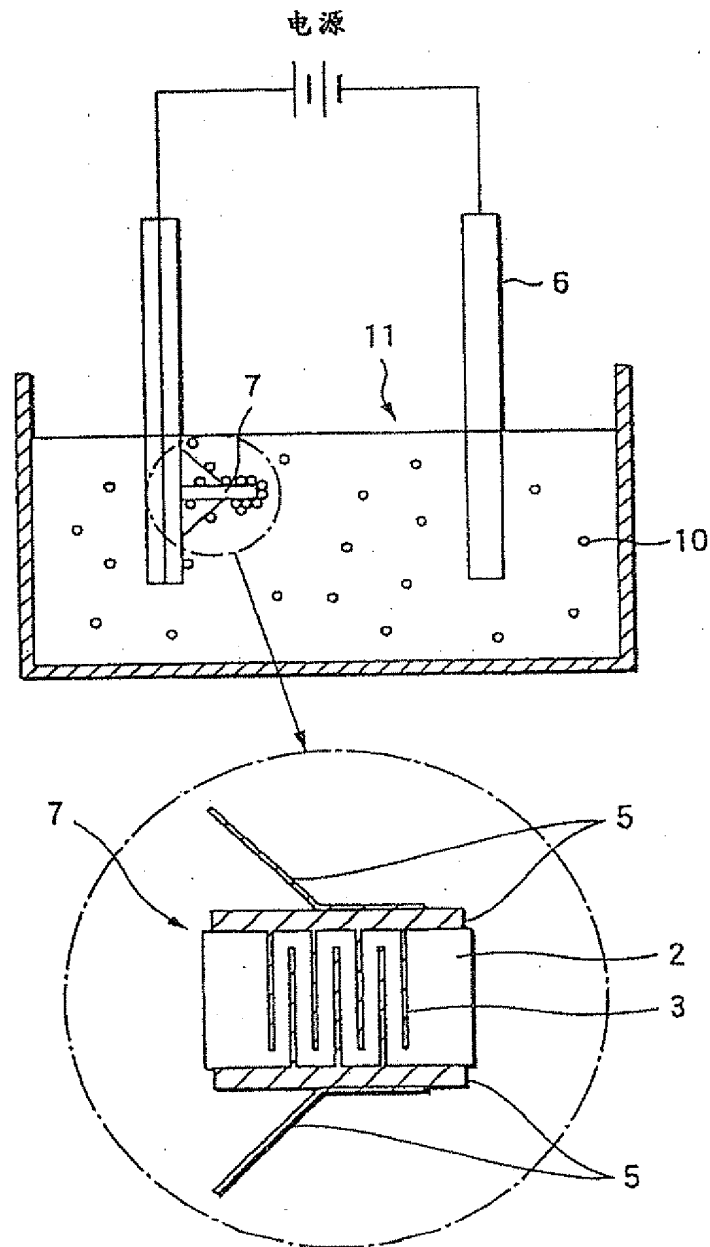


图 9

图 10(a)

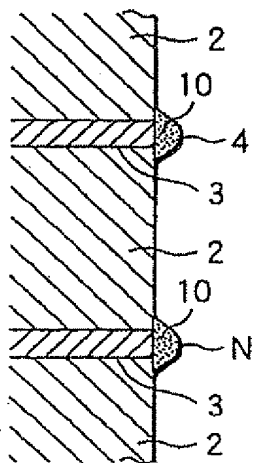
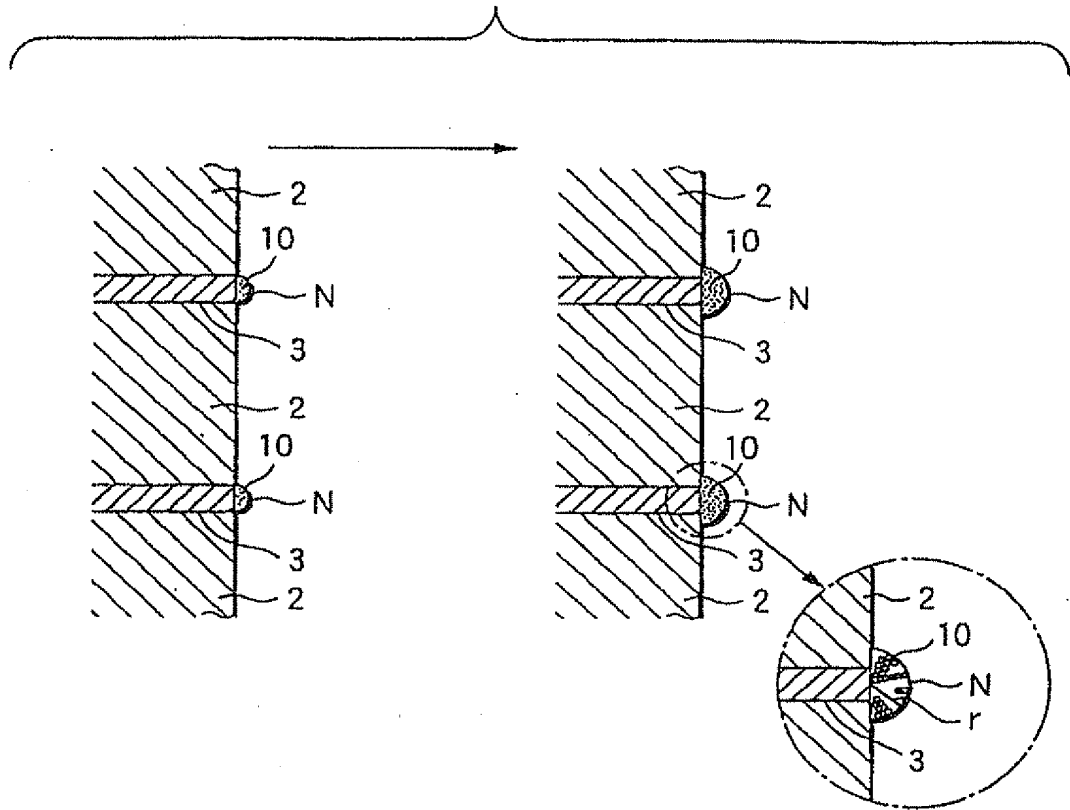


图 10(b1)

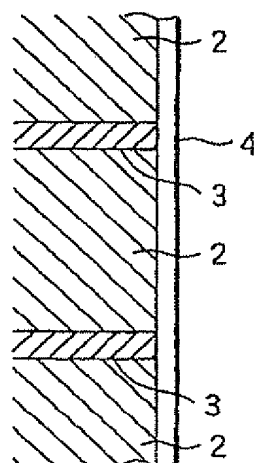


图 10(b2)

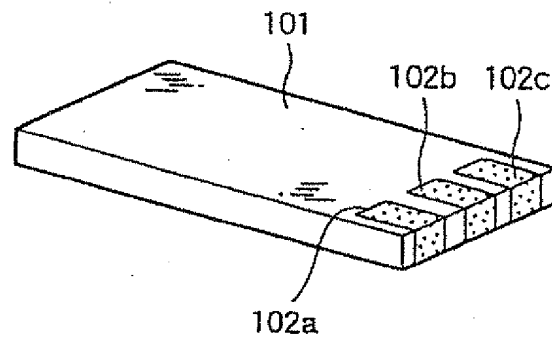


图 11

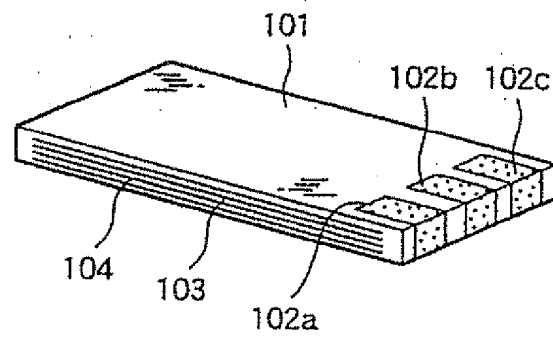


图 12

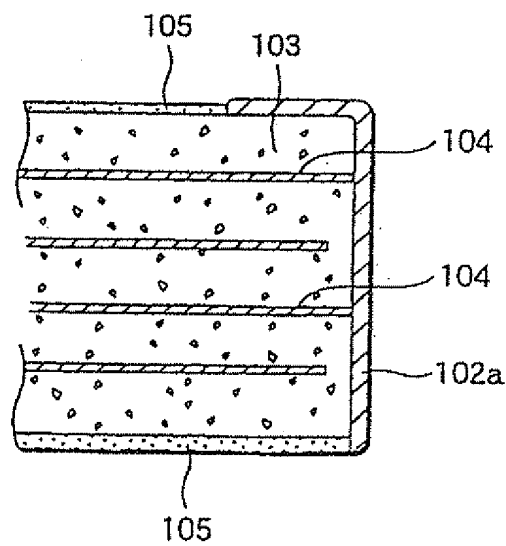


图 13